

特 許 公 報

⑨ 公告 昭和 51 年(1976) 4 月 28 日

庁内整理番号 6616-42

発明の数 1

(全 9 頁)

1

④ 磁束密度の高い一方向性電磁鋼板の製造方法

- ⑪ 特 願 昭 4 7 - 1 0 1 8 5 0
⑫ 出 願 昭 4 7 (1 9 7 2) 1 0 月 1 3 日
公 開 昭 4 9 - 6 1 0 1 9
⑬ 昭 4 9 (1 9 7 4) 6 月 1 3 日
⑭ 発 明 者 今中拓一
千葉市稲毛台町 9 の 5
同 菅孝宏
千葉市宮崎 1 の 3
同 小畑良夫
千葉市蘇我町 2 の 1 0 7 1
同 佐藤徹
千葉市南町 2 の 2 0 の 6
⑮ 出 願 人 川崎製鉄株式会社
神戸市葺合区北本町通 1 の 1 の
2 8
⑯ 代 理 人 弁理士 杉村暁秀 外 1 名

⑰ 特許請求の範囲

1 C 0.0 6 % 以下、S i 4.0 % 以下、S b
0.0 0 5 ~ 0.2 0 0 % 及び S 又は S e の 1 種 又は
2 種をその合計量で 0.0 0 8 ~ 0.1 0 % 含有する
珪素鋼素材を熱延し、焼鈍工程と冷延工程を適宜
繰返して最終成品厚の冷延鋼板を得、これに対し
て脱炭を兼ねた一次再結晶焼鈍を行ない更に最終
仕上焼鈍を行なつて (1 1 0) (0 0 1) 方位の
二次再結晶粒を発達させる一連の工程より成る一
方向性電磁鋼板の製造方法において、前記最終仕
上焼鈍において、まず 8 0 0 ~ 9 2 0 ° C の温度で
二次再結晶粒を十分成長せしめ、必要に応じ、
S i 量に応じて γ 領域に入らない温度で高温焼鈍
を施し、S、S e、N を除去することを特徴とする
磁束密度の高い一方向性電磁鋼板の製造方法。
発明の詳細な説明

本発明は鋼板または鋼帯の圧延方向に磁化容易
軸 1 0 0 を有するいわゆる一方向性電磁鋼板また

は鋼帯の製造法に関するものである。

一方向性電磁鋼板は主として方向性珪素鋼に代
表されるが、この方向性珪素鋼板または鋼帯は主
として変圧器その他の電気機器の鉄芯として使用
5 されるもので磁気特性として励磁特性と鉄損特性
が良好であることを必要とする。さて方向性珪素
鋼板または鋼帯の磁気特性を向上させるためには
第一に鋼板または鋼帯を構成する結晶粒の 1 0 0
軸を圧延方向に高度にそろえる必要がある。第二
1 0 には最終成品中に残存する不純物や析出物をでき
るだけ少なくする必要がある。

一方向性珪素鋼板の二段冷延による製造法が
N. P. Goss 氏によつて発明されて以来数多く
の改善がなされ、磁束密度及び鉄損値は年を追つ
て改良されてきた。特に A & N 析出相を利用する
例えば特公昭 4 0 - 1 5 6 4 4 号の提案により
B₈ が 1.8 0 wb/m² を大幅に越える製品が得ら
れるようになってきている。しかしこの方法は工
業的生産に際して非常に狭い許容度しかとりえな
2 0 い。本発明の目的は B₈ が少なくとも 1.8 5
wb/m² を示す高磁束密度の一方向性珪素鋼板ま
たは鋼帯を極めて安定した工程によつて製造する
方法を提供することにある。

ここで B₈ とは磁化力 8 0 0 A/m における磁
束密度を意味する。

本発明は珪素鋼素材中に少量の S b と、微量の
S e、S のいずれか一方あるいは双方を併存させ
これを従来公知の方法により処理することにより
優れた磁気特性を珪素鋼板を得ることを第一の発
明とし、更に本発明の第一発明の実施に当り 8 0 0
° C ~ 9 2 0 ° C の温度範囲で二次再結晶粒を充分成
長させ優れた特性の珪素鋼板を得ることを第二の
発明とするものである。

一般に一方向性珪素鋼板の製造に於ては、焼鈍
3 5 に伴う結晶粒の正常粒成長を抑えるいわゆる粒
成長抑制剤 (inhibitor) を適量含有した熱
延素材に対し、必要に応じて中間焼鈍をはさんで

3

冷間圧延を行ない、最終板厚としたあと通常780～840℃、湿水素中での脱炭を兼ねた一次再結晶焼鈍を行ないそれに続く通常1100～1200℃での最終高温焼鈍で特に110,001方位を有する結晶粒を選択的に成長させ、同時に微量の粒成長抑制剤によつて生成する析出物あるいは粒界に偏析する固溶原子が110,001方位から外れた結晶粒の最終高温焼鈍での成長を抑制することが特に重要である。

本発明においては先にも述べたように、かかる抑制剤としてSbとSeまたはSのいずれか一方あるいは双方を同時に素材中に存在させることを必須条件とする。

Sbに関しては特公昭38-8214号ですでにそれを珪素鋼の溶製時に0.005～0.100%添加することによつて、いわゆるゴス方位を有した二次再結晶集合組織が得られることが本発明出願人によつて見出されている。しかしSb単独では一次粒の成長抑制効果は認められるがその磁気特性に与える効果は十分確認されていない。本発明はそのSbによる一次粒の粒成長の抑制効果がSeまたはSを添加することによつて非常に効果的に強められるという知見を基に完成されたものである。

すなわち本発明はC 0.06%以下、Si 4.0%以下を含有する珪素鋼素材を熱延し、焼鈍工程と冷延工程を適宜繰返して最終成品厚の冷延鋼板を得、これに対して脱炭を兼ねた一次再結晶焼鈍を行ない更に最終仕上げ焼鈍を行なつて110,001方位の二次再結晶粒を発達させる一連の工程より成る一方向性電磁鋼板の製造方法に於て、前記素材中にSb 0.005～0.200%とS又はSeの1種類又は2種類を0.10%以下含有せしめることを特徴とする磁束密度の極めて高い一方向性電磁鋼板の製造方法である。

以下、本発明を詳細に説明する。

第1図A、BはSi約3%、Sbを約0.03%を含む鋼塊（電気炉製）を熱間圧延によつて板厚3mmの熱延板とし、この熱延板を先ず900℃で5分間焼鈍した後、60%～85%の圧下率で冷延し、次いで950℃で5分間焼鈍し次いで40%～80%の圧下率で最終冷延して0.30mm乃至は0.35mmの最終ゲージとした後820℃で湿水素中で脱炭し最後に850℃×50hrで2次再

4

結晶させたのち1200℃で箱焼鈍して得られた成品の代表的な磁束密度 B_8 に及ぼすS、Seの含有量の関係を示す図であり、ほぼSe 0.012～0.045%およびS 0.012～0.045%を含有させた場合に最良の B_8 値1.90 wb/m²が得られる。

第2図はSi約3%、Sb 0～0.20%、Se 0.02～0.04%、S 0.001～0.008%または0.02～0.05%を含む鋼塊（電気炉製）を、前述第1図の場合の工程と同一工程によつて仕上げた時の成品の磁束密度を示す図であり、Sb 0.005～0.20%を含有する鋼にSe、Sの1種あるいは2種を共存させる場合には、0.005～0.20% Sbの単独添加、あるいは0.02～0.05% Sの単独添加、あるいは0.02～0.04% Seの単独添加の場合に較べて優れた B_8 特性の得られることが判る。Sbは0.005%より低いとSe、Sを添加しても B_8 1.85 wb/m²を安定して越えることができず、一方0.2%を越えると B_8 が低下し始めて磁気特性を劣化させるので好ましくない。またSbは0.005%以上存在すれば B_8 が改良される。特にSbが0.01～0.1%の範囲では B_8 はSb含有量の影響を受けることが少なく、従つて0.02～0.04% Sb程度で十分な効果が得られることが判る。

一方Se、Sの B_8 に及ぼす影響は第1図Aに示す如くSeとSとの和が0.008%を下廻ると十分な B_8 値が得られなくなる。一方Se、Sの多量添加は B_8 に対する影響は少ないが必然的に熱間加工性及び鉄損の劣化を招き、工業生産上好ましくない。従つてSeとSの添加量として両者の和の上限を0.100%と規定する。

Cは0.06%以下に限定するが、これは後に続く工程で経済的な脱炭させる必要上定めたものである。Siについては冷延時の割れを考慮して4.0%以下に限定する。

本発明は上述の如く珪素鋼中にSbとSeまたはSの1種あるいは2種を含むことを必須の条件とするが、その他に通常珪素鋼中に添加されることの公知な元素の存在を妨げない。例えばMnは0.02～0.2%存在させることが好ましい。又一次粒成長の抑制剤として公知のTeをSeまたはSに置換えること或いは追加添加することも妨げない。その他一般的に0.5%以下のCr、Nb、

5

V、W、B、Ti、Zr、Taの添加をすることができる。なお脱酸剤として使用したA₂が微量例えば0.02%以下残存しても本発明の効果は十分現われる。しかしA₂の残存量は通常0.005%以下である。

本発明に従う珪素鋼は通常公知の製鋼および鑄造方法によつて製造し、これを公知の方法で熱延し、少くとも1回以上の焼鈍工程と、少くとも1回以上の冷延工程により成品板厚とした後、脱炭し、しかる後最終焼鈍を行なうことによつて110,001方位の二次再結晶粒を発生させるものである。

これら一連の工程を実施する場合の態様を詳細に述べると以下のとおりである。

本発明の素材を溶製するには、LD転炉、電気炉、平炉その他公知の製鋼方法を用いて行い得ることは勿論、真空処理、真空溶解を併用することができる。また造塊手段も通常の鑄型に注入する手段のほか連続鑄造によることも好適に行うことができる。

本発明はSbの他にSeまたはSを含む素材を使用することが必須とするが、Se、Sの素材中への添加はすでに提案されており、公知となっているいずれの方法を用いてもよい。例えば造塊の際溶鋼中に添加することのほか最終焼鈍に用いる25焼鈍分離剤中に適量のSe、Sを添加し鋼中に浸透させることもできるのは当然である。

造塊した鋼塊または連続鑄造製スラブはそれぞれ公知の方法で熱延に付される。通常スラブを熱延帯鋼に圧延する前に、1200~1350℃程30度に十分加熱するのは当然であり、得られる熱延板の厚みは後続の冷延工程により支配されるが通常2~5mm程度とする。

熱延板は続いて冷延に付される。本発明においては、冷延は少くとも1回以上行なうが本発明の35目的とする高いB₈値を得ようとする場合最終冷延率に十分注意を払う必要がある。

第5図のSi約3%、Mn約0.06%、C0.03%、S0.003%を含有する溶鋼に(a)Se0.018%およびSb0.030%、(b)Se0.01540%をそれぞれ添加して得られた鋼塊を、第1図あるいは第2図の場合と同様の条件で処理した最終冷延率とB₈値の関係を示す図において、本発明に係る素材にあつては最終冷延率40~85%の

6

範囲で高いB₈値が得られることが判る。特に50~77%の冷延率の場合1.90wb/m²を超えるB₈値が得られる。逆に最終冷延率が85%を超えると、二次再結晶粒の他に一次粒が混在してB₈値が急激に劣化し、一方40%以下の場合には大きく成長した二次再結晶粒が得られるが、100軸が圧延方向に揃わなくなり、やはりB₈値1.85wb/m²が得られない。

冷延は通常850~1100℃の中間焼鈍を挟んで2回行ない、この際最初の圧下率は60~85%程度とするが、1回だけとしてもよい。この場合には熱延板に対し850~1100℃の温度範囲で焼鈍を施し、熱延組織の均質化を図ると良好な結果が得られる。これらの焼鈍は通常連続焼鈍によつて行なうが、箱焼鈍等公知の手段に置換えることも可能である。

最終冷延を終り、成品板厚となつた鋼板は次に脱炭焼鈍に付される。この焼鈍は冷延組織を一次再結晶組織にすると同時に最終焼鈍で110,001方位の二次再結晶粒を発達させる場合に有害なCを除去するのが目的で、例えば750~850℃で5~15min程度の湿水素中での焼鈍のように既に公知になっているどのような方法を用いても構わない。

一方最終焼鈍は110,001方位の二次再結晶粒を充分発達させるため行なわれるもので、通常箱焼鈍によつて直ちに1000℃以上に昇温し、その温度に保持することによつて行なわれる。本発明においては、この焼鈍に当り、まず二次再結晶粒の成長を工業的に可能なかぎり低温で起こさせる。これにより単なる高温保持による二次再結晶工程によるよりも格段に高いB₈値を得ることができる。B₈は二次再結晶が完了した時点で十分高いが成品の鉄損値を下げるためには前記焼鈍にひきつづいてSi量に応じγ領域に入らない温度で高温の焼鈍を行なうのが望ましい。この最終焼鈍は通常マグネシヤ等の焼鈍分離剤を塗布し、箱焼鈍によつて行なわれる。

第3図はSi:3.3%、Sb:0.02%、Se0.015%を含む素材A(3.0mm板厚)、Si:3.3%、Sb無添加、Se:0.015%を含む通常の素材B(3.0mm板厚)について得られた結果である。素材A、Bとも1回目の冷延圧下率を70%中間焼鈍を950℃×5min、更に2回

7

目の冷延圧下率を67%にとつて最終ゲージ0.30mmとし820℃の湿水素中での脱炭焼鈍後素材Aは二次再結晶温度を840~960℃にとつてH₂中で二次再結晶焼鈍を施し、次いで1180℃で5時間仕上焼鈍した結果である。

第3図から分るように二次再結晶を起こさせる温度が低い場合には、磁気特性、B₈の向上が顕著に認められる。更に特筆すべきことは、本発明のSbにSeあるいはSを単独あるいは同時に添加した鋼についてB₈の向上が特に著しい。

第3図が教えるように、930℃以上の二次再結晶焼鈍温度をとつた場合にはB₈が十分向上せず、1.85wb/m²以上を得ることがむづかしい。一方800℃以下の焼鈍でも二次再結晶は起るが、時間がかかりすぎて工業的に無意味である。従つて本発明に於ては、二次再結晶温度を800℃~920℃に限定する。本発明の特徴はこの温度範囲で二次結晶粒を十分に成長させることにあつてその目的を達する限り、その手段は800℃~9.20℃で10~80hrの保定あるいはこの温度範囲内で工業的に可能な徐熱、例えば0.5~1.0℃/hrの昇温速度での徐熱でもよい。

すでに公知のように鋼板に含まれるSe、Sは最終焼鈍で110,001方位の二次再結晶粒の発達に役立った後は磁気特性、特に鉄損に対して有害であるため除去するか、極力減少させることが必要である。Se、Sを除去するためには、H₂中で長時間焼鈍すればよく、特にSi>2.0%の場合1000℃以上の焼鈍でSe、Sを除去すればよい。一方Sbについては一次粒の粒成長の抑制効果の他に第4図に示したように鋼板中に残存してもそれは鉄損特性の低下にならないという極めて特徴的な長所があり、仕上焼鈍で特に除去する必要はない。

実施例 1

C:0.020%、Si:2.90%、Mn:0.06%、Sb:0.030%、Se:0.020%を含有する珪素鋼鋼塊を分塊圧延後1250℃に1h加熱し、連続熱延工程で3mm厚に仕上げ、そのまま75%冷間圧延し、次で900℃で5min間焼鈍したのち、再び60%冷間圧延し0.3mm厚に仕上げた。次で820℃で5min間湿水素中で脱炭したのち、仕上焼鈍を施した。仕上焼鈍に際しては870℃に20h保持し、二次再結晶粒を十

8

分成長させた後1200℃に昇温し、5hに保持した。その結果得られた製品の磁気特性は

$$B_8 : 1.91 \text{ wb/m}^2$$

$$W_{17/50} : 1.21 \text{ w/kg}$$

であつた。

実施例 2

C:0.030%、Si:2.95%、Mn:0.056%、Sb:0.022%、S:0.009%、Se:0.015%を含有する珪素鋼鋼塊を分塊後1320℃に1h加熱し、連続熱延工程で2mm厚に仕上げ一旦冷却したのちN₂気流中で5min間の連続焼鈍を行なつた。その後70%の第一次冷延、850℃で5min間の中間焼鈍50%の第二次冷延を行ない0.30mm厚に仕上げた。ついで820℃で5min間の脱炭焼鈍を行ない、更に1180℃で5hの通常の箱焼鈍を行なつた結果次の特性を有する珪素鋼板が得られた。

$$B_8 : 1.88 \text{ wo/m}^2$$

$$W_{17/50} : 1.24 \text{ w/kg}$$

実施例 3

C:0.025%、Si:3.25%、Sb:0.019%、Se:0.020%、S無添加(0.004%)の珪素鋼鋼塊を3mm厚に熱延し970℃で5min間の焼鈍を行なつたのち、900℃の中間焼鈍を挟んで第一次冷延75%、第二次冷延64%(0.3mm仕上厚)を施し、ついで脱炭焼鈍後、仕上焼鈍を行なつた。その際860℃に50h保持し、二次再結晶粒を十分成長させたのち、1180℃に5h保持した。その結果得られた製品の特性

$$B_8 : 1.91 \text{ wb/m}^2$$

$$W_{17/50} : 1.11 \text{ w/kg}$$

実施例 4

C:0.015%、Si:2.90%、Sb:0.08%、Se:0.03%、S無添加(0.003%)、M:0.05%の組成を有する連鑄スラブを3mm厚に熱延後、950℃の中間焼鈍を挟んで60%の一次冷延、75%の二次冷延(0.3mm仕上厚)を行なつたのち脱炭焼鈍と1200℃で5hにわたる仕上焼鈍を施した。得られた製品の特性は次の通りであつた。

$$B_8 : 1.86 \text{ wb/m}^2$$

$$W_{17/50} : 1.28 \text{ w/kg}$$

9

10

実施例 5

C : 0.040%、Si : 2.90%、Sb : 0.015%、Se : 0.02%、S : 0.03%の珪素鋼熱延板(3mm板厚)を得、950℃の中間焼鈍を挟んで78%の一次冷延、50%の二次冷延を行なつて0.30mm厚に仕上げた。脱炭焼鈍後、800℃から900℃までの3℃/hで30hrかけて徐熱し、ついで1180℃で5hの保持を行なう。仕上焼鈍を行なつた結果、次の特性値をもつ珪素鋼板が得られた。

B_8 : 1.93 wb/m²

$W_{17/50}$: 1.22 w/kg

実施例 6

C : 0.025%、Si : 0.8%、Se : 0.020%、Sb : 0.030%の鋼塊を分塊、熱延を経て152.0mmに仕上げた。1000℃で5minにわたる焼鈍後、60%の冷間圧延を施し0.8mm厚に仕上げた。更に脱炭焼鈍を施したのち900℃で

24hにわたるH₂気流中での仕上焼鈍を施した結果次の特性を有する製品が得られた。

B_8 : 1.98 wb/m²

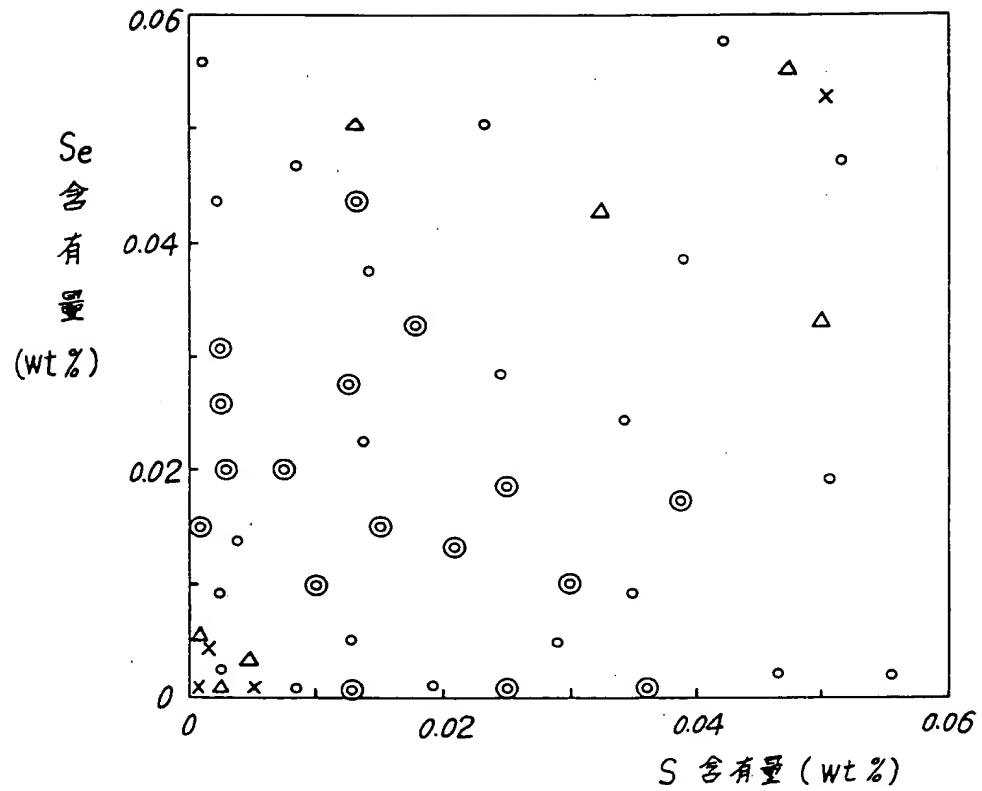
図面の簡単な説明

第1図A、Bは本発明法による製品の磁束密度 B_8 に及ぼすS、Se含有量の関係を示す図、第2図は所定のS、Se含有量に対してのSb含有量と B_8 の関係を示す図、第3図は本発明法により処理した素材A、Bについて二次再結晶処理温度と B_8 の関係を示した図、第4図は製品中に残留する所定量のSbについての B_8 と鉄損の関係を示す図、第5図は本発明法により処理した素材とSe単独添加処理した素材における最終冷延率と B_8 値の関係を示す図である。

⑤引用文献

特 公 昭49-6732

第1図 (A)

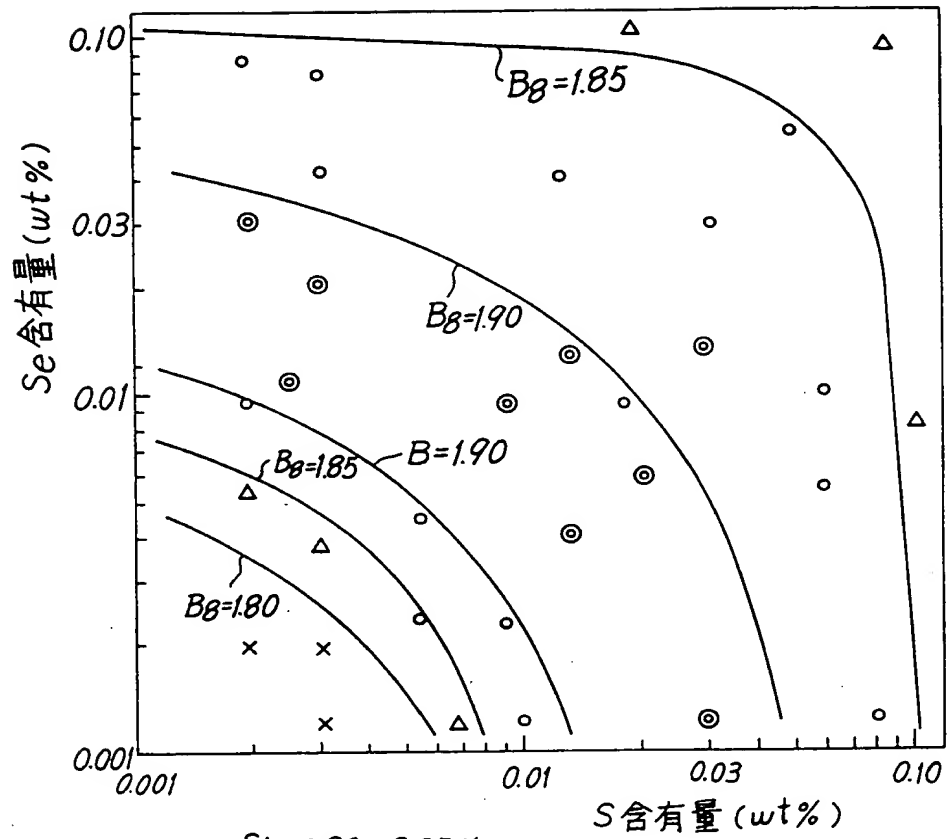


$$Si = 2.90 \sim 3.25\%$$

$$Sb = 0.02 \sim 0.03\%$$

$$\begin{cases} x & B_{\theta} < 1.80 \text{ Wb/m}^2 \\ \Delta & B_{\theta} \geq 1.80 \text{ Wb/m}^2 \\ o & B_{\theta} \geq 1.85 \text{ Wb/m}^2 \\ \odot & B_{\theta} \geq 1.90 \text{ Wb/m}^2 \end{cases}$$

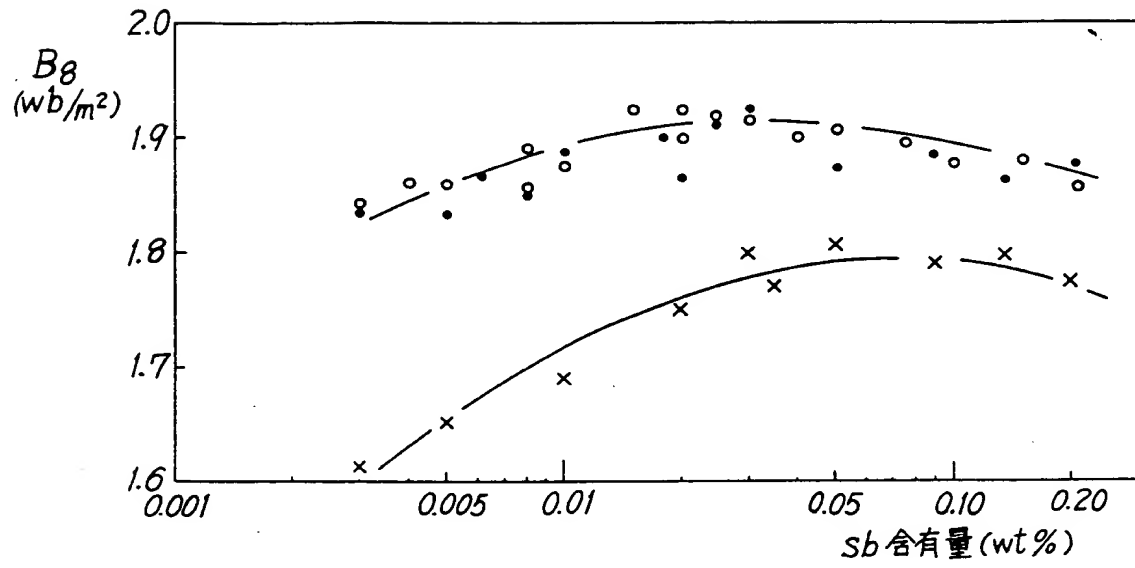
第1図 (B)



($Si=2.90\sim3.25\%$
 $Sb=0.02\sim0.03\%$)

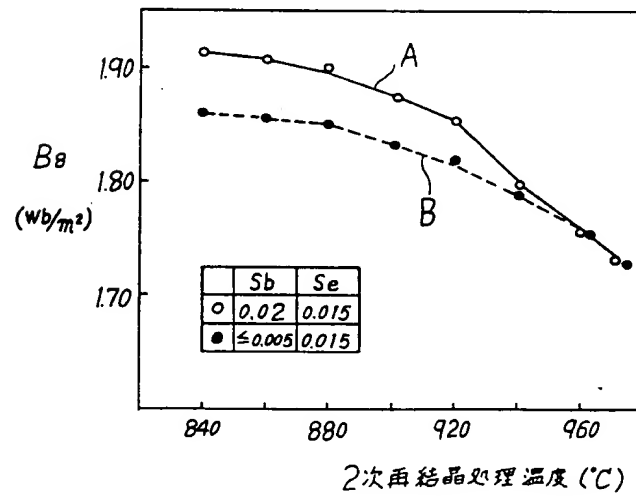
\times $B_g < 1.80 \text{ wb/m}^2$
 Δ $1.85 \leq B_g \leq 1.80 \text{ wb/m}^2$
 \circ $1.85 \leq B_g \leq 1.90 \text{ wb/m}^2$
 \odot $B_g \geq 1.90 \text{ wb/m}^2$

第2図



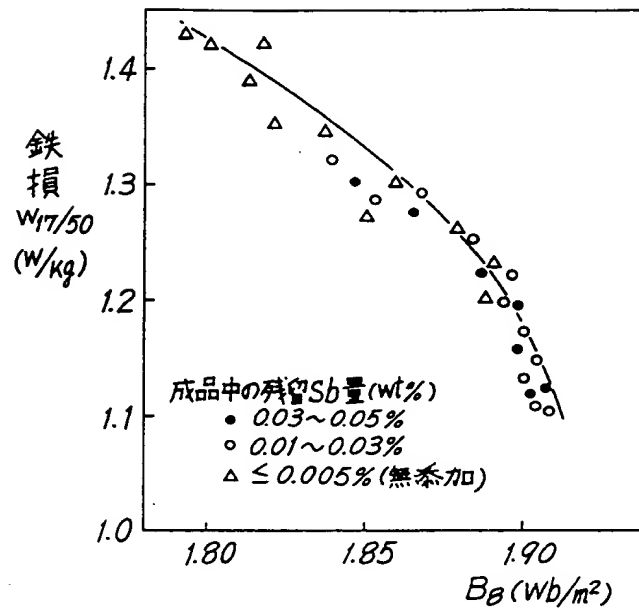
	S	Se
○	0.001~0.008	0.02~0.04
●	0.02~0.05	trace
×	0.001~0.008	trace

第3図



	Sb	Se
○	0.02	0.015
●	≤0.005	0.015

第4図



第5図

